

# Coast to coast : Danimarca e Svezia unite

Autor(en): **Petraglio, Flavio**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica =  
Swiss review of architecture, engineering and urban planning**

Band (Jahr): - **(2000)**

Heft 6

PDF erstellt am: **16.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-131986>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

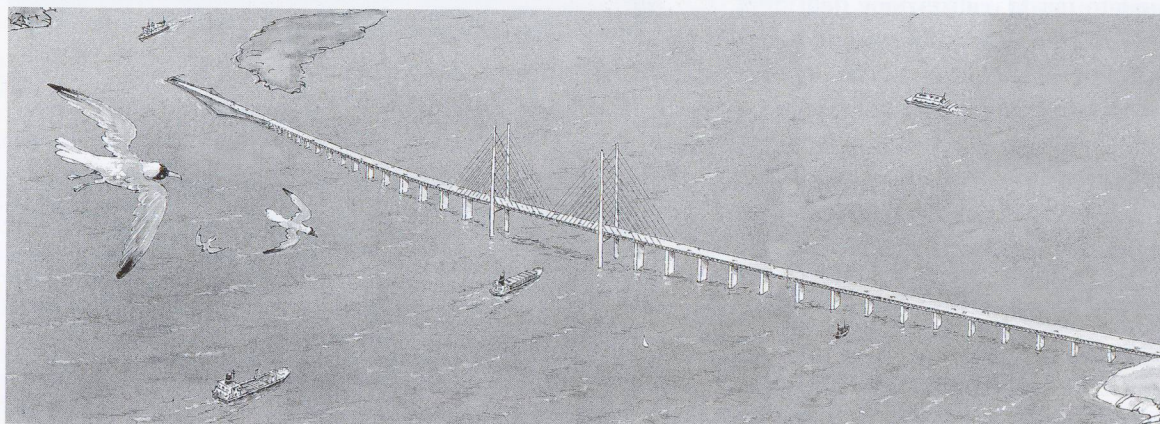
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Coast to coast: Danimarca e Svezia unite

Flavio Petraglio  
Studiante SUPSI, Dip. Costruzioni  
e Territorio, Cadenazzo



Il ponte Öresund collega, da costa a costa, la Danimarca con la Svezia. L'eccezionale opera, che è stata inaugurata il primo luglio scorso, permette ad autoveicoli e treni di passare da Copenaghen (DK) a Malmö (S) senza più l'obbligo di imbarco sul traghetto, ciò corrisponde ad un notevole guadagno di tempo.

Parlare di ponte sull'Öresund risulta essere semplicistico: infatti l'intero complesso comprende una penisola artificiale di 500 metri a Copenaghen, un tunnel sottomarino di 3.500 metri, un'isola artificiale di 4.000 metri e appunto un ponte di 7.800 metri formato da due ponti d'accesso e da un viadotto centrale strallato di 1.092 metri (con altezza massima dal pelo dell'acqua di 57 metri) per il transito del traffico marittimo. (Fig.1)

L'intera tratta di 16 chilometri garantisce l'utilizzo di 4 corsie per autoveicoli (2 in andata e altrettante in ritorno) e due binari per i treni. I tempi di realizzazione sono stati di 4 anni (1996-2000).

## Cronologia

Per arrivare all'inaugurazione del collegamento diversi eventi, in luoghi e tempi diversi, si sono susseguiti su un arco di più di 100 anni:

- 1872: Prima proposta per un tunnel nel canale Öresund.
- 1936: Prima proposta da parte dei gruppi Højgaard & Schulz e Skanska per un ponte per autoveicoli.
- 1952: Proposta della combinazione ponte tunnel sempre da parte di Højgaard & Schulz e Skanska con passaggio di autoveicoli, biciclette e treni.
- 1965: Skanska propone due tracciati diversi per autoveicoli (ponte) e treni (tunnel).
- 1980: Nuova proposta del gruppo Skanska che prevede un ponte con 4 corsie per autoveicoli.
- 1984: I governi di Svezia e Danimarca formano una delegazione atta alla risoluzione della questione Öresund.
- 1991: I governi dei due stati concordano per una soluzione combinata ponte tunnel per autoveicoli e treni.
- 1995: Firma del contratto per la costruzione del collegamento.
- 1996: Inizio lavori.
- 2000: Apertura del collegamento.



## Costruttori e contratti

- Öresund Tunnel Contractors (consorzio con imprese dalla Svezia, Francia, Danimarca e Olanda) firma il contratto di costruzione per il tunnel immerso con 5 tubi. Costo 800 milioni di franchi.
- Öresund Marine Joint Venture (Danimarca, Stati Uniti e Olanda) conclude il contratto per la realizzazione dell'isola artificiale e delle opere con utilizzo di draghe. Costo 280 milioni di franchi.
- Sundlink Contractors (Svezia, Danimarca e Germania) riceve mandato per la realizzazione del ponte alto strallato e dei due ponti di accesso. Il contratto prevede la costruzione su due livelli diversi per autoveicoli (sopra) e ferrovia (sotto) ed è sottoscritto per 1.300 milioni di franchi.
- Inglobando tutti gli altri gruppi che hanno lavorato alla realizzazione del collegamento si arriva ad un costo complessivo di circa 3 miliardi di franchi.

## Penisola artificiale Kastrup

Con una lunghezza di 430 metri ed una superficie globale di 0,9 km<sup>2</sup> la penisola artificiale costituisce l'imbocco del tunnel sottomarino. La realizzazione di tale elemento è stata del gruppo Öresund Marine Joint Venture.

## Tunnel sottomarino

### Generalità e realizzazione

Il tunnel collega la penisola artificiale Kastrup all'isola artificiale Peberholm e consiste in 5 tubi separati: 2 per il passaggio dei treni, 2 per le 4 corsie degli autoveicoli e 1 per i servizi, per una larghezza totale di 38,8 metri e un'altezza di 8,6 metri. (Fig.2)

La prefabbricazione ha avuto un ruolo fondamentale nella realizzazione di questa parte dell'opera: non si è scavato sotto l'acqua per ottenere un tunnel ma sono stati realizzati 20 cassoni di uguale lunghezza (176 metri) da accostare in seguito sotto il livello del mare. Gli elementi fabbricati a terra, messi in acqua, trasportati e calati sott'acqua sono in calcestruzzo armato (in totale sono stati utilizzati 63.000 m<sup>3</sup> di cls). Ogni elemento di 176 metri è costruito in otto parti di 22 metri ognuna e assemblato a terra. Una volta posati gli elementi del tunnel sono attorniti da materiale sciolto in qualità di protezione. Il manto stradale e le rotaie sono posati su una zavorra di calcestruzzo.

### Sicurezza

La sicurezza per il percorso degli autoveicoli è garantita da un tunnel centrale su tutta la lunghezza

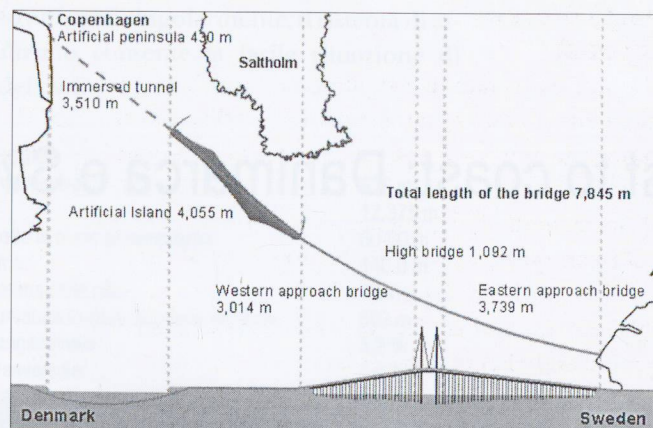


Fig. 1 - Piano generale delle opere

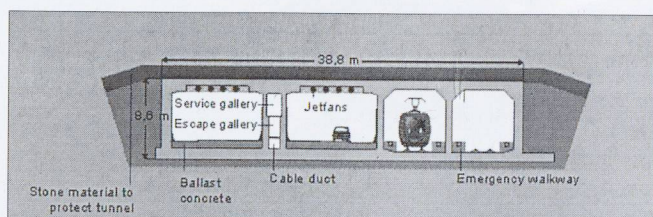


Fig. 2 - Sezione del tunnel sottomarino con i 5 tubi principali

con accessi di sicurezza ogni 88 metri. La sicurezza per la tratta ferroviaria è garantita da percorsi pedonali laterali. In generale tutte le pareti dei 5 tubi sono trattate con materiale isolante in grado di resistere 2 ore a temperature maggiori di 1300° C.

## Isola artificiale Peberholm

Questa macchia di terra immersa nel mare è stata realizzata per il passaggio del traffico dal tunnel al primo ponte di accesso. Ha lunghezza di circa 4 km ed è costituita da 1,6 milioni di m<sup>3</sup> di ghiaia, ciottoli e massi, e da 7,5 milioni di m<sup>3</sup> di sabbia tutti dragati dal letto del mare nella zona.

Gli elementi grossolani sono stati utilizzati per formare il contorno dell'arginamento rivestito poi internamente con geotessili e fango. Il materiale più o meno fine è stato riposto a strati all'interno del bacino. Il passaggio delle vie di collegamento dall'isola artificiale (su un solo livello) al ponte di accesso (su due livelli diversi) è garantito da un viadotto con lunghezza di 580 metri.



## Ponte Öresund

### Generalità

Il ponte è formato da un ponte alto strallato, che permette il passaggio inferiore del traffico marittimo, e da due ponti di accesso con struttura a mo' di trave continua.

Il tracciato di collegamento si sviluppa su due livelli con quote diverse per autoveicoli (sopra) e treni (sotto). I materiali utilizzati sono acciaio e calcestruzzo: dei tralicci in acciaio sostengono le piattabande in calcestruzzo.

Come dati di riferimento dell'opera si possono riportare i 320.000 m<sup>3</sup> di calcestruzzo, le 60.000 tonnellate di acciaio d'armatura, le 82.000 tonnellate di acciaio per tralicci e le 2.300 tonnellate di acciaio per cavi.

### Ponti di accesso

#### Tralicci

I due ponti di accesso sono lunghi 3.739 metri (ponte orientale) e 3.014 metri (ponte occidentale) e sono formati da 27 rispettivamente 22 pezzi. Dei 27 elementi del ponte orientale 24 sono lunghi 140 metri e 4 120 metri. Dei 24 pezzi del ponte occidentale 18 sono lunghi 140 metri e 4 120 metri. Tutti i 51 elementi sono posati su altrettanti pilastri aventi una quota minima di 15 metri sul pelo dell'acqua.

I tralicci in acciaio sono stati realizzati in Spagna (tempo d'esecuzione 20 mesi), una volta aggiunta la piattabanda in calcestruzzo superiore per gli autoveicoli sono stati trasportati a coppie con chiatte fino al porto di Malmö dove sono stati completati con la piattabanda per il tracciato ferroviario e sono stati trasportati infine con una speciale gru galleggiante (Svanen che permette di sollevare le 6.900 tonnellate di peso degli elementi).

Dalla posizione sospesa della Svanen i tralicci sono stati posati sui pilastri con l'interposizione di cuscinetti formati da fogli sottili di acciaio e teflon per permettere il movimento dovuto a espansioni o contrazioni della stessa struttura. I giunti tra un traliccio e l'altro sono stati eseguiti mediante saldatura per l'acciaio e completamento del getto per il calcestruzzo armato.

#### Cassoni di fondazione

Come prima operazione preliminare è scavato sul fondo fino agli strati di calcare resistente.

Considerando le necessità di posa esatta dei cassoni (tolleranza 50 mm) è stato studiato un sistema di cuscinetti in calcestruzzo posati sul fondo e messi in posizione da un sistema a treppiedi basato sulla determinazione della posizione con GPS.

Ogni cuscinetto ha dimensioni di 1,50 x 1,50 me-

tri e spessore di 15 cm. Dopo aver trovato la giusta posizione dei cuscinetti sia in coordinate che in quota vengono stabilizzati con iniezione di malta cementizia tra la superficie della roccia e la parte inferiore degli stessi cuscinetti.

I 51 cassoni sono fabbricati a terra e sono in calcestruzzo armato. Le dimensioni variano da 18 x 20 metri a 22 x 24 metri per la superficie e da 12 a 20 metri per l'altezza ciò che porta ad un peso da 2.500 a 4.700 tonnellate per cassone. Ogni cassone è formato da 12-18 celle.

Una volta fabbricati vengono trasportati e posizionati sui cuscinetti con Svanen che utilizza anch'essa un sistema satellitare GPS. Per completare l'operazione un'iniezione di malta tra il fondo e i cassoni rende il tutto unito. Quale zavorra vengono utilizzati calcestruzzo, minerali ferrosi, sabbia e materiali ecologici ad alta densità inseriti nelle celle dei cassoni.

#### Pilastri

Anche i pilastri vengono fabbricati a terra e trasportati in posizione con Svanen. (Fig 3)

Il materiale impiegato è il calcestruzzo e la composizione non è solida ma cellulare (come inizialmente i cassoni delle fondazioni). L'altezza varia dai 14 metri in zona iniziale ai 51 metri della zona centrale: ciò corrisponde ad un peso da 1.100 tonnellate a 3.300 tonnellate.

Una volta posizionati, i piloni sono aggiustabili definitivamente lateralmente con cavi in acciaio e in altezza con strumenti di sollevamento. Di nuovo lo spazio tra la testa del cassone di fondazione e il pilone viene riempito con calcestruzzo. L'operazione finale consiste nell'esecuzione dello zavorramento delle celle (altezza dipendente dalla posizione).

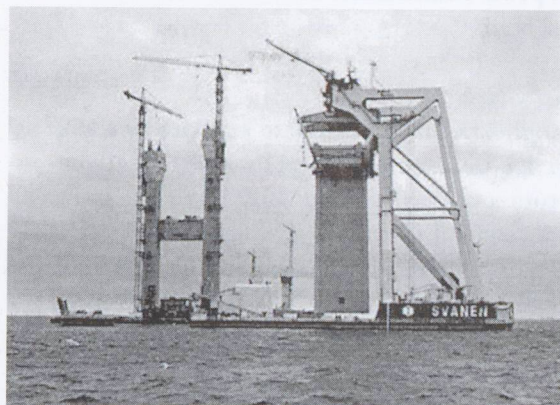


Fig. 3 – Trasporto pilastri con Svanen



## Ponte alto

### Cavi

Il ponte strallato è portato da un totale di 80 coppie di cavi (2 piloni con 40 coppie di cavi). Ogni coppia di cavi è formata da 140 trefoli (2x70) e ogni trefolo è composto da 7 fili in acciaio con diametro 5mm, galvanizzati, attornati da cera e inseriti in una guaina di plastica.

Anche i 70 trefoli di un cavo sono inseriti in una guida di plastica. Ogni cavo ha una portanza a trazione di 2.000 tonnellate (20.000 kN) ed è agganciato al traliccio in acciaio e in scatole di acciaio inserite nel pilone. In totale sono stati utilizzati 25 km di cavi per un peso complessivo di 2.300 tonnellate. Nelle fasi finali di tiraggio ogni trefolo è teso individualmente con condizioni di temperatura prestabilite.

### Piloni

Le 4 torri dei 2 piloni hanno forma pentagonale e sono piene fino ad un livello di 17 metri e poi risultano cave.

L'altezza totale raggiunge i 203,5 metri. La realizzazione è avvenuta mediante casseri autoportanti e in grado di avanzare verso l'alto autonomamente con tappe di 4 metri. Ogni tappa ha richiesto un impiego di 7-10 giorni di lavoro e in totale sono stati utilizzati 17.340 m<sup>3</sup> di calcestruzzo, ripartiti in modo decrescente nelle tappe di getto dalla base (220 m<sup>3</sup>) alla sommità (34 m<sup>3</sup>) delle torri, e 3200 tonnellate di armatura.

La fornitura di calcestruzzo è garantita da una centrale montata su un barcone e ancorata alla base dei piloni pure dotati di gru per l'approvvigionamento alla quota desiderata (altezza finale della gru 240 metri).

Il supporto orizzontale per i tralicci e le piattabande inserito tra le due torri ad un'altezza di 50 metri dal livello dell'acqua è stato realizzato a terra e in seguito posizionato. Ogni torre è dotata sia di lift che di scale con pianerottoli ogni 6 metri. I lavori per la realizzazione delle 4 torri sono durati circa 2 anni.

### Soprastruttura

La lunghezza totale del ponte strallato di 1.092 metri ha imposto una prefabbricazione della struttura a tralicci in pezzi come per i due ponti di accesso, al contrario di questi però i pezzi sono stati realizzati in Svezia. Le dimensioni sono di 140 metri (6 pezzi) e 120 metri (2 pezzi). Il processo costruttivo è rimasto quello della fabbricazione in Spagna.

Per il primo elemento posato dei tralicci, dal pilone orientale verso quello occidentale, è stata

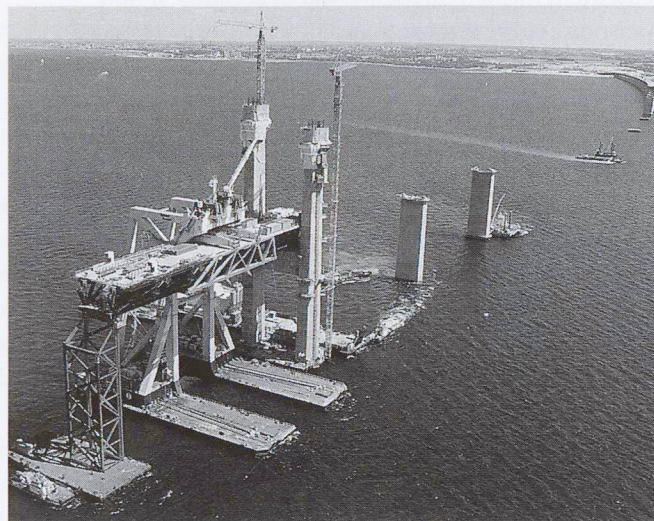
introdotta una torre di sostegno reticolare per l'estremità libera del traliccio.

Il secondo elemento posato è stato quello dalla torre orientale verso il primo pilone basso, il terzo elemento quello centrale tra i due piloni alti e il quarto traliccio quello più prossimo al ponte di accesso. Con 4 tralicci posati e la seguente posa dei cavi la prima metà di ponte è realizzata; la seconda metà ha seguito il medesimo processo cosicché l'incontro a metà è stato facilitato.

### Cassoni dei piloni

I due cassoni dei due piloni sono stati posati nel 1997 grazie a speciali catamarani utilizzati anche per il trasporto dal porto di Malmö considerando l'elevato peso di 20.000 tonnellate dei due elementi. Con una superficie di 35x37 metri e un'altezza di 21 rispettivamente 22,5 metri ogni cassone ha richiesto l'utilizzo di 1000 tonnellate di acciaio d'armatura e 7.500 m<sup>3</sup> di calcestruzzo. Il tipo di costruzione è ancora una volta a celle (ogni cassone 42 celle).

Per la posa è stato utilizzato anche in questo caso un sistema di navigazione satellitare (GPS) e un sistema a cuscinetti come descritto per i cassoni dei piloni dei due ponti di accesso. L'unica differenza consiste nel materiale sciolto posato attorno ai cassoni per evitare eventuali urti diretti.





## Approfondimenti

### Aspetti economici

Come già riportato il costo complessivo dell'opera si situa attorno ai 3 miliardi di franchi. Considerando interessi e influssi vari si pensa di riuscire ad ammortizzare il costo totale su un lasso di tempo di 30 anni (2000-2030). Dal 2030 in poi si prevede l'inizio di una parabola ascendente di guadagni stimabile in 5 miliardi di franchi nel 2040.

### Costi di pedaggio

Il tempo di percorrenza dei 16 km totali dell'opera è situato attorno ai 15 minuti, ciò significa un notevole guadagno di tempo rimanendo comunque entro costi limitati:

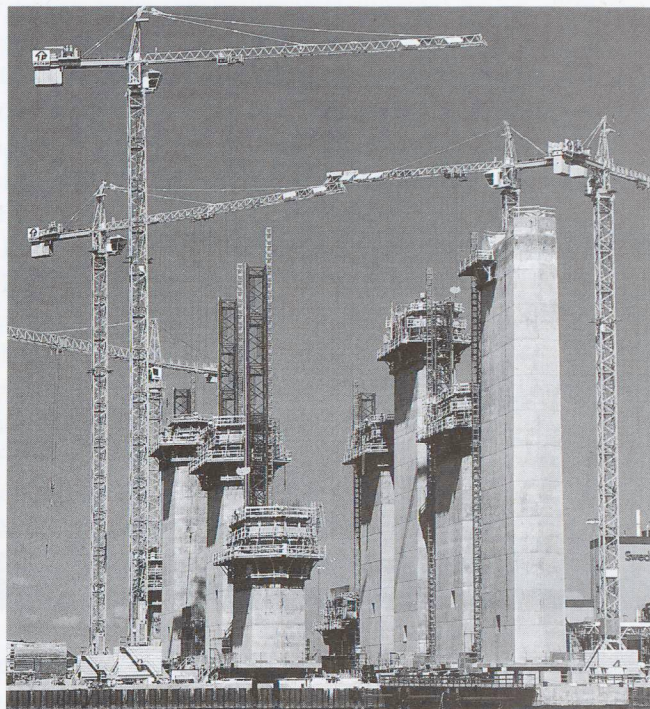
Motociclette:	25 SFr.
Autoveicoli leggeri:	45 SFr.
Bus:	200 SFr.
Autoveicoli pesanti:	120-170 SFr.

### Sicurezza

Per il tunnel sotterraneo valgono le considerazioni fatte nel capitolo specifico con l'aggiunta di 80 maxi ventilatori per meglio garantire il corretto ricambio d'aria anche in situazioni delicate. Alla stazione di pagamento di Lernacken tutto è tenuto sotto controllo da telecamere e i dispositivi di allarme sono stati testati sia da autorità danesi che svedesi. Barriere elettroniche entrano in funzione automaticamente nel momento in cui ci dovessero essere problemi in una parte dell'opera (tunnel o ponte). Sul ponte e sull'isola artificiale sono installati telefoni di emergenza ogni 600 metri e nel tunnel ogni 88 metri.

### Gru galleggiante Svanen

Come già descritto precedentemente per il montaggio di tutte le parti principali del ponte Öresund (cassoni di fondazione e piloni dei ponti di accesso e tutti i tralicci di acciaio) è stata utilizzata una speciale gru soprannominata Svanen («Il cigno»). Tale mostro di potenza è arrivato nella regione di Öresund dal Canada caricata su una speciale chiatte (Mighty Servant). Precedentemente «Il cigno» era stato utilizzato per la costruzione del Great Belt sempre in Danimarca. Dotata di lift speciali arriva a sollevare 8.700 tonnellate, è lunga 103 metri, larga 72 metri, supera i 100 metri di altezza ed è in grado di spostarsi con una velocità di 2-5 nodi (4-10 km/h) a dipendenza delle condizioni del vento. Fissata tramite 8 ancore per la posa di un elemento è in grado di fornire una precisione di ca. 2 cm.



Siti internet sul ponte Öresund  
– [www.oresundsutstalningen.com](http://www.oresundsutstalningen.com)  
– [www.oresundlink.com](http://www.oresundlink.com)  
– [www.oresundkonsortiet.se](http://www.oresundkonsortiet.se)  
– [www.sundlink.se](http://www.sundlink.se)  
– [www.oresund.com](http://www.oresund.com)  
– [www.oresundtrafik.com](http://www.oresundtrafik.com)